

УДК 681.121.83

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЦІННОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

О.Є.Середюк, В.В. Малісевич, Н.М. Малісевич

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул.Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019*

Проведений аналіз методів і засобів для контролю теплоти згорання і енергетичної цінності природного газу. Розкрита конструкція і особливості функціонування розробленої лабораторної установки для експериментальних досліджень методу термоанемометричного контролю енергетичної цінності природного газу. На підставі експериментальних досліджень отримано градувальні характеристики приладу, який реалізує метод термоанемометричного контролю енергетичної цінності природного газу. Експериментально встановлені закономірності зміни вихідного сигналу вимірювача енергетичної цінності природного газу для діапазону теплоти згорання (7759 – 8538) ккал/м³ і витратах до 0,6 м³/год. Запропоновані технічні рішення пристроїв для технічної реалізації термоанемометричного методу контролю енергетичної цінності природного газу шляхом побудови напірно-термоанемометричних, ультразвукових термоанемометричних і пристроїв на базі методу змінного перепаду тиску з термоанемометричними перетворювачами.

Ключові слова: природний газ, енергетична цінність, теплота згорання, термоанемометричний перетворювач, витрата, лабораторна установка, градувальна характеристика.

Проведен анализ методов и средств для контроля теплоты сгорания и энергетической ценности природного газа. Раскрыта конструкция и особенности функционирования разработанной лабораторной установки для экспериментальных исследований метода термоанемометрического контроля энергетической ценности природного газа. На основании экспериментальных исследований получены градуировочные характеристики прибора, который реализует метод термоанемометрического контроля энергетической ценности природного газа. Экспериментально установлены закономерности изменения выходного сигнала измерителя энергетической ценности природного газа для диапазона теплоты сгорания (7759 - 8538) ккал/м³ и расхода до 0,6 м³/час. Предложенные технические решения устройств для технической реализации термоанемометрического метода контроля энергетической ценности природного газа путем построения напорно-термоанемометрических, ультразвуковых термоанемометрических и устройств на базе метода переменного перепада давления с термоанемометрическими преобразователями.

Ключевые слова: природный газ, энергетическая ценность, теплота сгорания, термоанемометрический преобразователь, расход, лабораторная установка, градуировочная характеристика.

The analysis of methods and tools for control of heating value and energy value of natural gas is conducted. A construction and features of functioning of the developed laboratory unit for experimental researches of method of thermoanemometrical control of energy value of natural gas are disclosed. Calibration descriptions of device that will realize the method of thermoanemometrical control of energy value of natural gas are got on the basis of experimental researches. Regularities of change of output signal of measuring device of energy value of natural gas are experimentally set for the range of heating value (7759 - 8538) kkal/m³ and flowrate 0,6 m³/h. The technical solutions of devices for technical realization of thermoanemometrical method of control of energy value of natural gas by the construction of pressure- thermoanemometrical, ultrasonic thermoanemometrical and devices on the base of method of variable pressure drop with thermoanemometrical converters are offered.

Keywords: natural gas, energy value, heating value, thermoanemometrical converter, flowrate, laboratory unit, calibration curve.

Вступ. Концепція створення єдиної системи обліку природного газу в Україні, яка схвалена Постановою Кабінету Міністрів України №1089 від 21.08.2001 року "Про концепцію створення єдиної системи обліку природного газу", передбачає необхідність не тільки вдосконалення і впровадження сучасних високоточних лічильників і автоматизованих вимірювальних комплексів, а також здійснення переходу на облік газу та проведення розрахунків за нього з урахуванням його калорійності. Свідченням цього є перші практичні кроки впровадження в Україні гармонізованого з європейськими нормами EN міждержавного стандарту щодо функціонування вимірювальних станцій для природного газу, де передбачається їх оснащення засобами вимірювання теплоти згорання і енергії природного газу.

З урахуванням сучасних тенденцій розвитку енергоощадних технологій застосування природного газу в Україні з 2011 р. чинним є національний стандарт [1], який регламентує методи та порядок визначення енергії під час комерційних розрахунків за спожитий газ. Однак на даний час реальне впровадження цього стандарту є достатньо проблематичним насамперед через відсутність простих за конструкцією і оперативних за можливістю застосування технічних засобів для визначення теплоти згорання природного газу безпосередньо у його споживачів. Натомість, сьогодні розрахунок за спожитий газ ведеться за використанням його об'ємом і оплата за нього з врахуванням теплоти згорання практично не здійснюється. Недоліком практично всіх засобів вимірювальної техніки, які застосовуються сьогодні для обліку природного газу, є вимірювання ними тільки об'єму газу як комерційного параметра.

Тому вивчення питань вдосконалення пристроїв для контролю енергетичної цінності природного газу є актуальною задачею, оскільки відкриває нові шляхи раціонального використання енергетичних ресурсів, підвищення економічної ефективності діяльності підприємств і практичної гармонізації національних підходів з європейськими у сфері обліку природного газу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як відомо, однією із основних якісних характеристик природного газу є енергія, що виділяється в результаті згорання в повітрі певної кількості газу, яку можна термінологічно охарактеризувати як вищу або нижчу теплоту згорання [1].

З врахуванням міжнародного досвіду і чинного в Україні національного стандарту [1] облік природного газу повинен здійснюватися інформаційно-вимірювальними вузлами, які забезпечують визначення його енергії, котра міститься у виміряній кількості (об'єму або масі) газу і вимірюється у МДж або кВт·год. Як розмірну одиницю теплоти згорання природного газу розглядають її значення в одиниці його об'єму або маси, що в розмірних одиницях подають в МДж/м³ або МДж/кг. Водночас в практичному аспекті обліку і при транспортуванні природного газу застосовується поняття енергетичної цінності природного газу [2-5], яка у відповідності до стандарту [1] характеризує витрату енергії газу за одиницю часу. Її розмірність становить МДж/с або в позасистемній одиниці ккал/с. Інтегрування цієї характеристики впродовж інтервалу часу дає змогу отримати кількісне значення енергії природного газу, яка згідно з [1] розраховується як добуток кількості газу (маса або об'єм) і теплоти згорання газу за заданих умов.

Згідно з [1] енергетичну цінність (витрату енергії) e плинних потоків природного газу, що проходить через поперечний переріз трубопроводу, можна визначати за формулою:

$$e = q \cdot H, \quad (1)$$

де q – об'ємна витрата природного газу, м³/с;
 H – теплота згорання природного газу Дж/м³.

З формули (1) випливає, що вимірювання енергетичної цінності природного газу можна розглядати із застосуванням поняття парціальності впливу складових, тобто оцінюванням впливу окремих компонент на кінцевий результат вимірювання.

Найбільш поширеним методом визначення теплоти згорання природного газу є розрахунковий метод [6], що базується на використанні даних про компонентний склад природного газу, отриманих за допомогою хроматографічного аналізу. Хроматографи, в основному, є лабораторними засобами і застосовуються у відповідних підрозділах управлінь газового господарства для періодичного контролю якості природного газу на предмет її відповідності чинним нормативним документам і стандартам.

Також хроматографи використовують у складі витратовимірювальних комплексів газовимірювальних станцій [7] і функціонують як складові вузли для практичної реалізації методу змінного перепаду тиску, насамперед при вимірюванні густини природного газу. Так, наприклад, на ГВС "Гребеники" для аналізу

якості природного газу використовують автоматичні потокові газові хроматографи ENCAL фірми "Інстромет" [8].

Проте визначення теплоти згорання природного газу таким методом є можливим лише на великих пунктах обліку природного газу за умов наявності дорогого обладнання і не може бути застосоване при виконанні вимірювань безпосередньо у промислових чи побутових споживачів.

Сьогодні в промисловості для вимірювання теплоти згорання природного газу використовують калориметри, які серійно виготовляються. Так, наприклад, відомий газовий калориметр P804-P1 [9], що призначений для неперервного автоматичного вимірювання в трубопроводі питомої об'ємної теплоти згорання різних горючих газів. До складу пристрою входять: основний блок, блок управління, реєстратор і блок живлення. Даний калориметр характеризується малими габаритними розмірами, широким діапазоном температур (від 5 до 50 °C), надлишковим тиском (від 1 до 20 кПа) контрольованого середовища, швидкодією вимірювання (20-30 с) та похибкою вимірювання питомої теплоти згорання природного газу, що не перевищує $\pm 0,5$ %. Також для його установа не потрібно спеціального калориметричного приміщення. Його головним недоліком є можливість роботи тільки при низьких робочих тисках газу (до 20 кПа).

Відомий також потоковий газовий калориметр Gas-Lab Q1 [10], що використовується не тільки для визначення вищої теплоти згорання природного газу, але і для визначення його густини за стандартних умов і концентрації в його компонентному складі вуглекислого газу. Визначення теплоти згорання даним пристроєм відбувається за рахунок корелятивного вимірювання поглинання газом інфрачервоного випромінювання і теплопровідності аналізованого газу. Основними перевагами використання даного калориметра є відсутність відкритого вогню при вимірюванні, швидкий неперервний аналіз газу, низькі затрати на монтаж і обслуговування. Похибка визначення вищої теплоти згорання даним калориметром не перевищує 0,4 %. Недоліком даного пристрою є необхідність використання метану для його автоматичного калібрування.

Газовий калориметр НКС [11] призначений для вимірювання об'ємної нижчої теплоти згорання горючих газів. У вимірювальному пристрої реалізований прямий калориметричний метод вимірювання об'ємної теплоти згорання,

пов'язаної градуальною залежністю з вимірним часом згорання одиначної порції газу. При цьому газ для спалювання подається таким чином, щоб потужність, яка виділилась у вимірювальній комірці теплового блоку в результаті хімічної реакції окислення горючого газу, була постійна. При цьому границя допустимої відносної похибки калориметра не перевищує $\pm 0,45$ %. Недоліком даного пристрою є довгий час виходу на режим (близько 4 год) і дискретність функціонування від порційності згорання газу.

Слід зазначити, що існуючі автоматичні витратовимірювальні комплекси для обліку природного газу [7, 12, 13] не містять вимог до визначення енергетичної цінності газу, не передбачають наявності засобів для визначення його енергетичної цінності і не формують вимог її врахування в результатах вимірювань.

Серед нових технічних рішень відомим є пристрій для експрес-визначення теплоти згорання природного газу [14], який дозволяє проводити вимірювання в режимі реального часу. Для визначення теплоти згорання природного газу за його компонентним складом у пристрої передбачено вимірювальну камеру, де вимірюють швидкість проходження ультразвукових коливань у газі. Вона має кореляційний зв'язок із вмістом вуглеводневих компонентів у компонентному складі природного газу. Згідно з [15] для визначення вмісту вуглекислого газу можливе використання газоаналітичної техніки, а вміст азоту розраховують, як різницю 100%, вмісту вуглеводневих компонентів та вуглекислого газу. Для розрахунку теплоти згорання природного газу за результатами вимірювань використовують спеціально розроблену штучну нейронну мережу [16].

Визначенню енергетичної цінності природного газу слугує запатентована інтегральна автоматизована система [3] вимірювання, приготування та ефективного розподілення природного газу за значенням його енергетичної цінності передбачає можливість неперервно контролювати калорійність газу та неперервно готувати задану енергетичну цінність газу, виражену добутком вимірних значень об'ємної теплоти згорання (нижчої) газу та об'ємної витрати природного газу за стандартних умов шляхом додаткового введення контуру вимірювання об'ємної теплоти згорання (нижчої) та контуру програмного управління. Проте вона зараз знаходиться на стадії наукових досліджень і практичної апробації.

За участю авторів запропоновано новий

підхід до контролю енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів [17], який забезпечує реалізацію потокового контролю енергетичної цінності шляхом опосередкованого врахування теплофізичних характеристик природного газу.

Метою роботи є експериментальні дослідження методу термоанемометричного контролю і розроблення на його базі напрямків практичної реалізації інформаційно-вимірювальних систем для визначення енергетичної цінності природного газу.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень використовувалася лабораторна установка [18] із застосуванням в ній серійно виготовлюваного термоанемометричного перетворювача [19]. До складу установки входять (рис. 1): вхідний патрубок 1, балон 2 з пропан-бутановою сумішшю, джерело витрати повітря 3, задавачі витрати 4, 6, 12, редуктор 5, джерело нагрівання потоку робочого середовища 7, напірно-термоанемометричний пристрій контролю 10 з первинними давачами (трубка Піто 8 та термоанемометричний перетворювач 9), еталонний лічильник 11 об'єму робочого середовища, випускний патрубок 13 та ПЕОМ 14. Дані про тиск p і температуру T робочого середовища, перепад тиску на трубці Піто Δp та напругу вихідного сигналу термоанемометричного перетворювача U надходять до ПЕОМ.

При проведенні експериментальних досліджень лабораторна установка здатна забезпечити максимальну витрату робочого середовища $2,45 \text{ м}^3/\text{год}$ при його

максимальному надлишковому тиску $2,5 \text{ кПа}$. Крім того, конструкція установки дозволяє використовувати різні робочі середовища в процесі проведення досліджень. Задавачі витрати 4, 6, 12 та редуктор 5 дозволяють задавати різні витрати та тиск в процесі проведення експериментальних досліджень, що забезпечує можливість встановлення потрібних режимів потоку робочого середовища.

При експериментальних дослідженнях є можливим використання трьох видів робочих середовищ: природний газ, пропан-бутанова суміш і повітря, а також їхні композиції, які формують різну енергетичну цінність потоків. Джерелом природного газу може бути будинкова газова мережа, до якої через вхідний патрубок 1 під'єднується лабораторна установка. Природний газ через задавач витрати 4 потрапляє у вимірювальну ділянку лабораторного стенду. За таких умов установка функціонує при низьких тисках (до $2,5 \text{ кПа}$).

Функціонування стенду на пропан-бутановій суміші передбачає її подачу у пароподібному стані до вимірювального трубопроводу з балона 2 зі скрапленим газом "Пропан-бутаном" через редуктор 5, яким регулюється робочий тиск в установці. Балон 2 також може бути використаний як джерело стиснутого природного газу, що дає можливість підняти значення робочого тиску і збільшити витрату робочого середовища і, як наслідок, діапазон вимірювання енергетичної цінності (при цьому необхідно застосовувати термоанемометричний перетворювач з відповідним допустимим значенням робочого тиску).

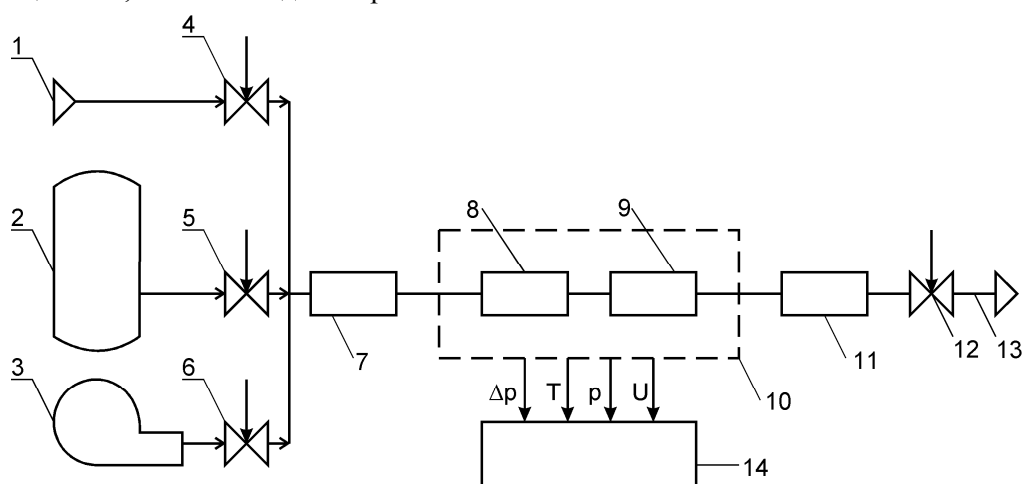


Рисунок 1 – Схема лабораторної установки для визначення енергетичної цінності природного газу

Стенд дозволяє також використовувати повітря як робоче середовище від джерела витрати повітря (повітродувка) для можливості формування газо-повітряних сумішей різної енергетичної цінності. Для цього одночасно використовуються два або три з вказаних джерел витрати робочого середовища, витрати з яких задаються ступенем відкриття відповідних регулюючих пристроїв 4, 5, 6. При функціонуванні стенда індивідуально калібрований лічильник 11 виконує роль еталонного засобу вимірювання об'єму, а наявність хронометра в блоці 14 дозволяє визначати витрату газу у вимірювальній ділянці.

Оскільки при проведенні експериментальних досліджень необхідно було виконувати операцію попереднього градування термоанемометричного перетворювача за різних якісних характеристик природного газу, то як джерело витрати застосовувалися балони-пробовідбірники. Компонентний склад газу в них визначався попередньо проведеним хроматографічним аналізом (табл. 1).

При проведенні експериментальних досліджень використовувався природний газ з різною теплою згорання, кожен з яких був в окремому балоні. Балони зі стиснутим природним газом відомої теплоти згорання

почергово під'єднувалися до вхідного патрубку 1 (рис. 2) лабораторного стенда через редуктор 2 до вимірювальної ділянки лабораторної установки, в якій змонтовані давач температури 6, термоанемометричний перетворювач 8, еталонний лічильник 9 (індивідуально проградуваний побутовий лічильник газу типорозміру G 1,6). Необхідні значення витрати і тиску потоку робочого середовища у лабораторній установці задавалися вентиллями 2 і 10. Вихідний патрубок 11 з'єднувався з утилізаційною лінією природного газу, на виході якої встановлювався газовий пальник. Цифровий прилад 5 призначений для вимірювання температури робочого середовища у комплекті з термоперетворювачем 6 і для вимірювання тиску у вимірювальній ділянці, який подається через штуцер 7 до первинного перетворювача, змонтованого в імпульсній лінії від штуцера 7. Вихідний сигнал з термоанемометричного перетворювача (напруга) вимірювався цифровим осцилографом 12, який водночас здійснював контроль стабільності вихідного сигналу і його усереднення за інтервал вимірювання. На рис. 2 позиціями 3, 4 вказані додаткові місця подачі робочого середовища на вхід лабораторної установки.

Таблиця 1 - Результати хроматографічного аналізу газів, що використовувалися при експериментальних дослідженнях

Найменування фізико-хімічних параметрів газу		Результати аналізу газу		
		Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
Метан (C1)		97,0410	96,6670	92,7140
Етан (C2)		0,0980	1,7900	3,4980
Пропан (C3)		0,0050	0,5510	1,4610
ізо-Бутан (iC4)		0,0010	0,0860	0,2530
н-Бутан (nC4)		0,0000	0,0890	0,4500
нео-Пентан (неоC4)		0,0000	0,0010	0,0020
ізо-Пентан (iC5)		0,0010	0,0160	0,1360
н-Пентан (nC5)		0,0000	0,0110	0,1160
Гексан+вищ. (C6+вищ.)		0,0000	0,0110	0,1520
Кисень (O2)		0,0220	0,0040	0,0060
Азот (N2)		2,6820	0,6750	0,6290
Двоокис вуглецю (CO2)		0,1490	0,0990	0,5830
Густина відносна, кг/м ³		0,5678	0,5761	0,6142
Густина хроматографічна, кг/м ³		0,6842	0,6943	0,7402
Нижча теплота згорання (за стандартних умов)	ккал/м ³	7759	8145	8538
	МДж/м ³	32,4854	34,1015	35,7469
Число Воббе (вище), ккал/м ³		11433	11902	12062

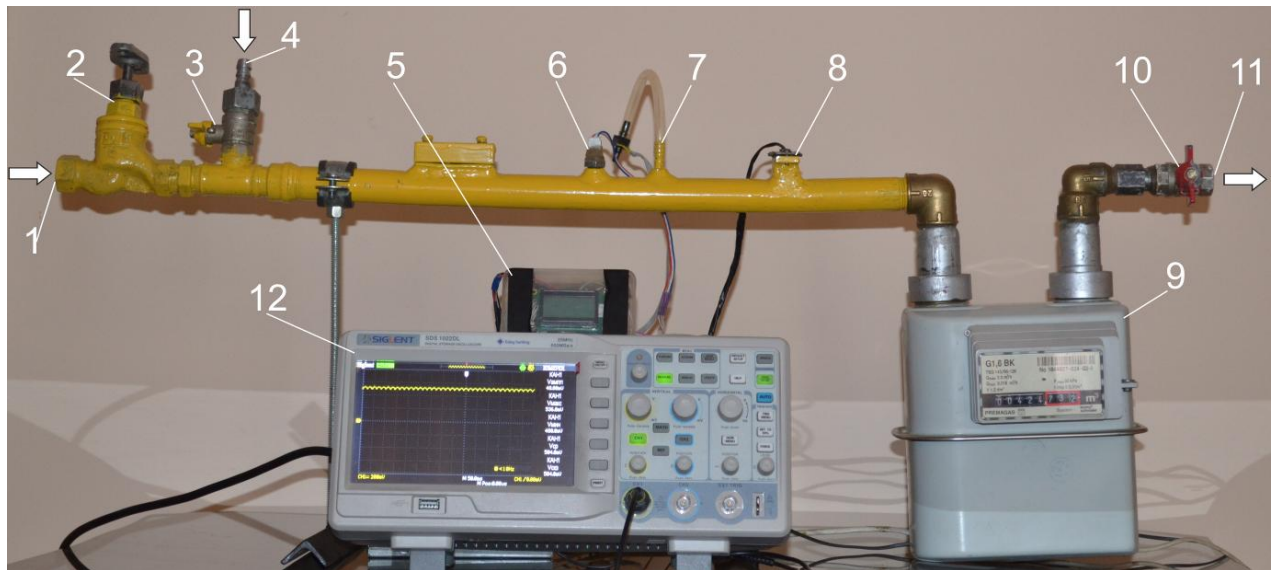


Рисунок 2 – Загальний вигляд лабораторної установки для експериментальних досліджень методу термоанемометричного контролю енергетичної цінності природного газу

На рис. 3 наведено результати експериментальних досліджень термоанемометричного пристрою контролю для трьох різних компонентних складів природного газу з теплою згорання 7759 ккал/м^3 , 8138 ккал/м^3 і 8538 ккал/м^3 . З графіків видно, що енергетична цінність природного газу є функцією двох параметрів (витрата і теплота згорання), причому вид залежності є нелінійним. Це підтверджує правильність теоретичних аспектів при побудові термоанемометричних вимірювачів енергетичної цінності. Водночас реалізація цього методу потребує застосування відповідних апроксимаційних моделей.

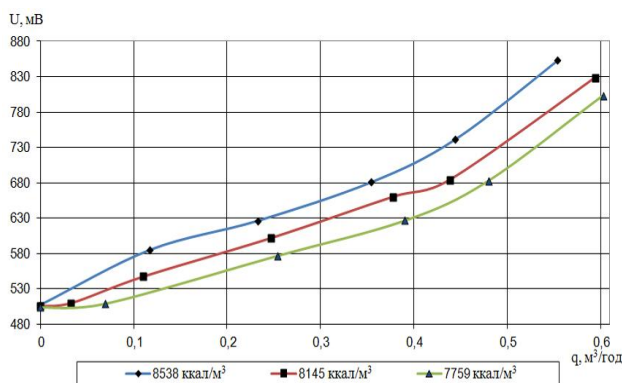
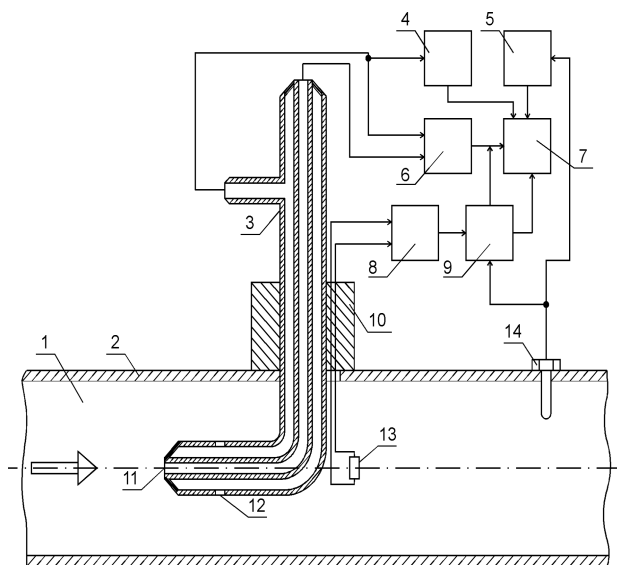


Рисунок 3 – Залежність вихідного сигналу пристрою контролю енергетичної цінності природного газу від витрати при різних значеннях теплоти згорання і надлишковому тиску 0,1 кПа

Для практичної реалізації технології визначення енергетичної цінності природного газу конструктивні рішення повинні передбачати використання двох видів первинних перетворювачів: об'ємної витрати і теплоти згорання. При цьому конкретним виконанням вимірювачів витрати при витратно-термоанемометричному методі контролю енергетичної цінності природного газу можуть бути гідродинамічна трубка Піто (рис. 4), ультразвуковий витратомір (рис. 5) та витратомір на базі методу змінного перепаду тиску (рис. 6). Побудова за вказаними підходами таких засобів для визначення енергетичної цінності природного газу при вимірюванні його калорійності термоанемометричними перетворювачами дозволяє практично реалізувати технологію визначення енергії і суттєво розширити сегмент вимірювальних засобів, що можуть застосовуватися в пристроях такого типу.

ВИСНОВКИ

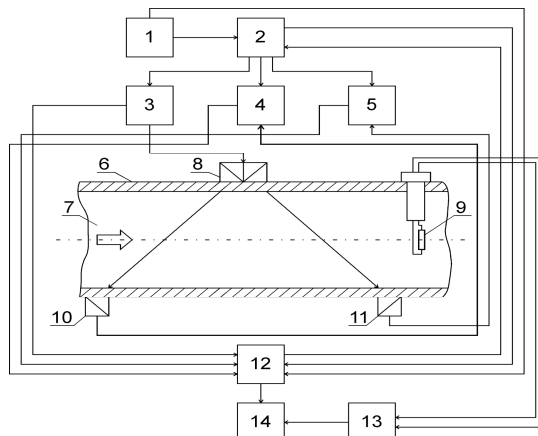
Описана суть і функціонування лабораторної установки для експериментальних досліджень методу термоанемометричного контролю енергетичної цінності природного газу. За результатами проведених досліджень отримано градувальні характеристики приладу, який реалізує метод термоанемометричного контролю енергетичної цінності природного газу.



1 – робоче середовище; 2 – трубопровід; 3 – гідродинамічна трубка Піто; 4 – блок визначення абсолютного тиску робочого середовища; 5 – блок визначення абсолютної температури робочого середовища; 6 – блок визначення локальної швидкості робочого середовища; 7 – блок розрахунку витрати робочого середовища; 8 – блок вимірювання температури перетворювача; 9 – блок визначення коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача; 10 – стакан для монтажу напірно-термоанемометричного вимірювача; 11 – приймач повного тиску; 12 – приймач статичного тиску; 13 – термоанемометричний перетворювач; 14 – давач температури

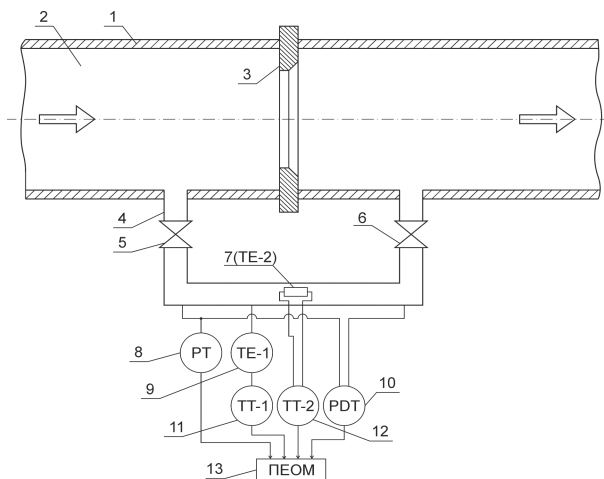
Рисунок 4 – Технічне рішення напірно-термоанемометричного пристрою для визначення енергетичної цінності природного газу

Експериментально встановлені закономірності зміни вихідного сигналу вимірювача енергетичної цінності природного газу для діапазону теплоти згорання ($7759 - 8538$) ккал/м³ і витратах до 0,6 м³/год. Запропоновані технічні рішення пристроїв для технічної реалізації термоанемометричного методу контролю енергетичної цінності природного газу. Результати експериментальних досліджень підтверджують можливість реалізації експрес-методу контролю енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів.



1 – генератор синхронізуючих імпульсів; 2 – схема керування; 3, 4, 5 – електронні ключі; 6 – трубопровід; 7 – робоче середовище; 8 – роздільно-суміщений врізний п'єзоперетворювач; 9 – термо-анемометричний перетворювач; 10, 11 – приймальні врізні п'єзоперетворювачі; 12 – блок обробки та коригування вимірювальної інформації; 13 – блок визначення коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача; 14 – блок визначення енергетичної цінності природного газу

Рисунок 5 – Технічне рішення ультразвукового термоанемометричного пристрою для визначення енергетичної цінності природного газу



1 – трубопровід; 2 – робоче середовище; 3 – звужувальний пристрій; 4 – обвідний трубопровід; 5, 6 – перекивні вентилі; 7 – термоанемометричний перетворювач; 8 – перетворювач тиску робочого середовища; 9 – перетворювач температури робочого середовища; 10 – перетворювач перепаду тиску на звужувальному пристрої; 11, 12 – нормуючі перетворювачі вихідного сигналу з вимірювальних термоперетворювачів; 13 – ПЕОМ

Рисунок 6 – Технічне рішення пристрою для визначення енергетичної цінності природного газу на базі витратоміра змінного перепаду тиску

1. Природний газ. Визначення енергії: ДСТУ ISO 15112:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 48 с. – (Національний стандарт). 2. Крук І.С. Облік природних газів за їх енергетичною цінністю / І.С. Крук // Приладобудування: стан і перспективи: XIII Міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2014 р., Київ: зб. тез доповідей. – К.: ПБФ, НТУУ "КПІ", 2014. – С.220-221. 3. Пат. 98215 У Україна, МПК (2006.01) G01W1/11. Інтегральна автоматизована система вимірювання, приготування й ефективного розподілення природного газу за базовими значеннями його енергетичної цінності, вираженої вимірними об'ємними теплотою згоряння та витратою газу за стандартних умов / Крук І.С., Химко М.П., Крук О.П. [та ін.]; заявник і патентовласник Публічне акціонерне товариство "Укртрансгаз". – № u201410726; заявл. 01.10.14; опубл. 27.04.15; Бюл. № 8. 4. Середюк О.Є. Теоретичні засади застосування напірного витратоміра для визначення енергетичної цінності природного газу / О.Є. Середюк, В.В. Малісевич // Метрологія та прилади. – 2014. – № 5. – С. 38-47. 5. Малісевич В.В. Експериментальні дослідження термоанемометричного витратоміра при обліку природного газу за його енергетичною цінністю / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2 (33). – С. 78-85. 6. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе: ГОСТ 22667-82. – [Введен с 1983-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 3 с. – (Межгосударственный стандарт). 7. Облік природного газу: довідник / [М.П.Андрійшин, О.М.Карпаш, Я.С.Марчук, І.С.Петришин, О.Є.Середюк, С.А.Чеховський]; за ред. С.А.Чеховського. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. – 180 с. 8. Розгонюк В.В. ГВС "Гребеники" – газовимірювальна станція 2005 року / В.В. Розгонюк, Я.М. Власюк // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 3. – С. 50-51. 9. Закрытое Акционерное Общество "ВАРМ" / Россия, г. Снежинск // <http://www.calorimetr.ru>. 10. ООО "АСУ Нефтегаз" / Россия, г. Самара // <http://www.asu-ng.ru/index.php?Itemid=75>. 11. Центр комплектації "СпецТехноРесурс" / Россия, г. Москва // <http://td-str.ru>. 12. Шишко Г.Г. Учет расхода газа / Г.Г. Шишко, П.М. Енин – К.: Урожай, 1993. – 312 с. 13. Плотников В.М. Приборы и средства учета природного газа и конденсата / В.М. Плотников, В.А. Подрешетников, Л.Н. Тетеревятников – Л.: Недра, 1989. – 238 с. – (Б-ка эксплуатационника магистрального газопровода). 14. Пат. 48121 У Україна, МПК (2009) G01N25/20. Пристрій для експрес-визначення теплоти згоряння природного газу / Карпаш О.М., Дарвай І.Я.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u200908918; заявл. 27.08.09; опубл. 10.03.10; Бюл. № 5. 15. Пат. 92846 С2 Україна, МПК (2009) G01N25/20. Спосіб експрес-визначення теплоти згоряння природного газу / Карпаш О.М., Дарвай І.Я., Карпаш М.О. [та ін.]; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № a200905201; заявл. 25.05.09; опубл. 10.12.10; Бюл. № 23. 16. Дарвай І.Я. Експериментальні дослідження нового методу визначення теплоти згоряння природного газу / І.Я. Дарвай., О.М. Карпаш // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – № 24. – С.90-94. 17. Малісевич В.В. Контроль енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук: спец. 05.11.13 "Прилади і методи контролю та визначення складу речовин". – Івано-Франківськ, 2015. – 22 с. 18. Пат. 91778 У Україна, МПК (2014.01) G 01 F 1/00. Парціальний витратомір / Середюк О.Є., Малісевич В.В.; заявники і патентовласники Середюк О.Є., Малісевич В.В. – № u201402428; заявл. 11.03.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13. 19. D6F-V03A1 MEMS Flow Rate Sensor [електронний ресурс]. URL: <http://www.omron.com>.

Поступила в редакцію 23.12.2015р.

Рекомендували до друку: докт. техн. наук, проф. Карпаш О.М., докт. техн. наук, проф. Пістун Є. П.